

# 基于 BIM 与机器学习的建筑智能 巡检眼镜研究

杨雅钧 石轩璐 唐禧妍 靳晓勇 许镇

(北京科技大学,北京 100083)

**【摘要】**如今我国 BIM 行业发展迅速,与人工智能结合应用已成为热门趋势。针对建筑巡检时仪器携带不便,且人工误差难以避免等问题,设计了基于 BIM 与机器学习的建筑智能巡检眼镜,实现了巡检设备的便携化与自动化。首先基于机器学习对建筑构件图片进行训练,实现构件识别功能;其次通过 Dynamo 可视化编程快速提取建筑构件信息;最后以树莓派为硬件载体设计建筑智能巡检眼镜,可准确识别建筑构件类型。本文方法可以大幅提升巡检效率,实现 BIM 技术与人工智能等领域的进一步融合。

**【关键词】**BIM; 机器学习; 树莓派; 构件信息提取; 智能巡检

**【中图分类号】**TU17 **【文献标识码】**A

**【版权声明】**文集数据被中国知网重要会议论文全文数据库(CPCD)收录,被本刊录用并在中国知网网络首发正式出版,严禁侵权转载。

## 引言

随着经济不断发展,建筑的设计与施工愈来愈复杂多样,施工过后的定时检查是保障施工构件安全与稳定的重要途径,因此,建筑巡检至关重要。然而,现代建筑巡检的设备仪器大多仍停留在水平仪、超声波测厚仪等需要人工操作的仪器上,在携带上十分不便,并且人工造成的误差无法避免。因此,亟需提升检查仪器的便携程度。

BIM 技术与云、大数据、物联网等技术不断结合、创新,住建部在《2016-2020 建筑业信息化发展纲要》中明确指出“十三五”时期,全面提高建筑业信息化水平,着力增强 BIM、大数据、智能化、移动通讯、云计算、物联网等信息技术集成应用能力<sup>[1,2]</sup>。如今已有新一代的建筑智能巡检程序。黄国<sup>[3]</sup>等人设计了基于 AR 智能眼镜的变电站可视化巡检平台,实现了巡检定位以及巡检路径规划设计,提高了巡检精度问题。徐宝军<sup>[4]</sup>等人研发了一套基于

BIM 技术的变电站机器人智能巡检系统,实现了机器人巡检过程和巡检结果的三维展示,以及巡检结果协同多源数据和历史数据的智能诊断,为运行人员提供了更直观、智能的技术支持。

本研究基于机器学习与 BIM 的建筑信息提取程序,利用树莓派为硬件载体,有机、完整地进行相互结合,整合调节,设计出便携式建筑智能巡检眼镜。

## 1 研究背景

### 1.1 BIM 技术

近年来,BIM (Building Information Model) 在我国已经得到了一定的发展,逐渐得到行内认可和政府支持。智慧化、数字化已成一种发展趋势,BIM 技术因其实用性、高效性,已在建设项目各阶段成熟运用<sup>[5]</sup>。BIM 技术可以提高建筑信息集成化,在施工过程中,使施工方更轻松掌握施工进度,以及检查验收施工成果。在 BIM 应用中,构件定位并获取

**【基金项目】** 教育部协同育人项目“装配式设计与 BIM 课程教学融合与改革”;中央高校基本科研业务费(编号:FRF-DF-20-01)

**【作者简介】** 杨雅钧(1997-),女,在读硕士研究生,主要研究方向:城市综合数字防灾;石轩璐(2000-),女,在读本科生,主要研究方向:BIM 设计;许镇(1986-),男,博士、教授,主要研究方向:城市综合数字防灾。

实时信息的需求较强烈。

Revit 是目前使用最广泛的 BIM 建模软件之一, Dynamo 作为一种可视化编程的开源式插件,可与之进行交互。Dynamo 可以在 Revit 中充分进行参数化设计,无需编写代码,仅仅通过节点就可以轻松创建模型或实现自动化处理<sup>[6,7]</sup>。如图 1 所示,Dynamo 与 Revit 交互时,每一个坐标都可以表示在 Dynamo 中。当 Revit 被读取关联信息时,通过预定义功能节点,形成 Dynamo 模型,再通过数据驱动就可以创建或修改 Revit 的三维模型<sup>[8]</sup>。通过 Revit 与 Dynamo 交互可以对建筑构件信息快速进行大批量操作,实时提取建筑信息,操作简单,方便快捷。

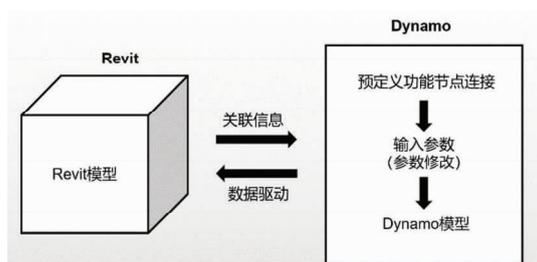


图 1 Dynamo 与 Revit 交互示意图

## 1.2 机器学习

人工智能是计算机科学的一个分支,包括机器人、语言识别、图像识别等<sup>[9,10]</sup>。近些年来,得益于我国科学技术的发展,人工智能正在逐步走入人们的生活,土木工程行业与人工智能的联系也变得更加密切。

机器学习的发展在很大程度上需要与人工智能结合地进行研究。人工智能用于生成行动,机器学习用于预测事物。随着机器学习的发展,该领域出现了很多分支,如深度学习。它以人工神经网络为架构,对数据进行表征学习<sup>[11]</sup>。

要使深度学习到达一定的精度不仅需要优秀的算法、大量的数据集,还需要强大的计算机性能。因此可以使用迁移学习的方法微调一个已训练好的模型,以最佳网络模型为基础,训练出所需的模型应用。不仅可以提高准确率,还可以减少对数据集的依赖以及对计算机性能的要求。

通过智能识别算法进行反复训练,对于视线所及的工程构件进行智能识别,对于其特征与类型进行分类输入。结合计算机智能图像识别的算法和技术,实现在复杂的巡检环境下正确识别各种建筑构件。

## 1.3 树莓派

树莓派(Raspberry Pi)是一种小型电脑,它在本质上是一款基于 ARM 的微型电脑主板,以 SD 或 MicroSD 卡为内存硬盘。卡片上的所有部件全部整合在一张仅比信用卡稍大的主板上,具备所有计算机的基本功能,只需接通显示器和键盘,就能执行如电子表格、文字处理等功能<sup>[12]</sup>。将机器学习、树莓派和云计算有机地结合在一起,可以低成本完成工作中一些重复性的简单工作。因此,选用树莓派作为硬件载体,小巧的树莓派微型计算机为便携式计算提供了便利,基于 Linux 系统和各种丰富的接口,也可以在树莓派上进行机器学习预测图像的功能,非常方便,便于移动检测各种目标。

## 2 智能巡检技术

### 2.1 总体架构

本研究综合了 BIM、机器学习技术,成果适用于土木工程行业。图 2 为基于 BIM 的智能巡检眼镜总体架构。以树莓派作为硬件载体,在其上进行主机设置,生成源代码后编写 Python 程序即可应用。采用机器学习技术,建立模型并大量训练模型,实现建筑构件的智能识别。识别出的构件结果,再利用 BIM 技术提取出的构件信息比对,最终实现巡检内容。



图 2 总体架构

### 2.2 建筑构件识别

#### 2.2.1 模型建立

为实现建筑构件识别,网上已有许多训练好的模型,如 GoogLeNet、AlexNet、ResNet-50、Inception-v3、Inception-resnet-v2、VGG16/19 等,因此可以利用现有的深度学习网络进行迁移学习,生成解决问题的模型,这样所需数据集较小,对计算机的性能要求不高,且具有一定的准确率保障。

本文主要对已有的深度学习模型进行微调<sup>[13]</sup>，主要流程包括三个方面：特征提取、采用预训练模型的结构以及训练特定层，冻结其他层。

### 2.2.2 模型训练

#### (1) 加载数据

将收集的新图像加载为图像数据进行存储。将数据分为训练集和测试集，70% 的图像用于训练，30% 的图像用于测试。

#### (2) 加载预训练模型

加载预训练的 GoogLeNet 模型，使用 analysisNetwork 功能可以显示网络架构的交互式可视化效果以及有关网络层的详细信息，如图 3 所示。GoogLeNet 一共有 144 层，且训练了 1 000 个分类，而本项目预计分类为六个，需在最后输出层进行修改。

网络的 Layers 属性的第一个元素是图像输入层，对于 GoogLeNet 网络，此层需要大小为  $224 \times 224 \times 3$  的输入图像。

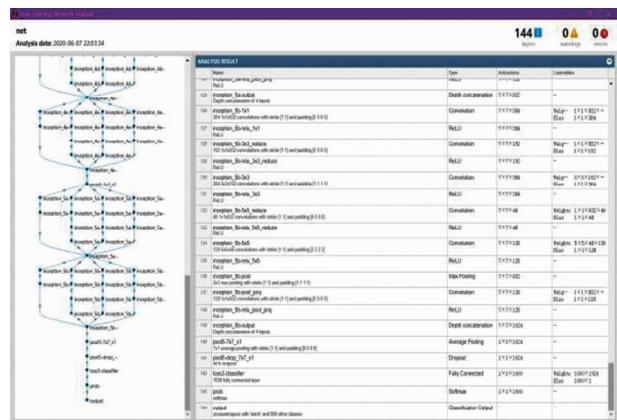


图 3 网络架构可视化

#### (4) 替换最终层

网络的卷积层提取图像特征，最后可学习层和最终分类层将其用于对输入图像进行分类。GoogLeNet 中的“loss3”和输出层，可以将特征信息结合起来。在该网络中提取到类概率、损耗值、和预测的标签，用训练好的网络做特征提取。使用 findLayersToReplace 功能自动替换两层的名称。

将连接层替换为新的全连接层，其中输出数量等于新数据集中类的数量<sup>[14]</sup>。在分类层指定网络的输出类别，用没有类别标签的新图层替换分类图层。利用 trainNetwork 功能在训练时自动设置图层的输出类别。最后，检查新层是否正确连接，绘制新层图并放大网络的最后一层。

#### (5) 冻结初始层

网络准备好后在新的图像集上进行训练。通过将层中的学习率设置为 0 来“冻结”网络中较早层的权重。冻结多个初始层的权重可以显著加快网络训练速度<sup>[15]</sup>。并且新做的数据集很小，因此冻结较早的网络层也可以防止这些层过度适应新数据集。

使用 freezeWeights 将 GoogLeNet 中前 10 层的学习率设置为 0。使用支持功能 createLgraphUsingConnections 以原始顺序重新连接所有层。新的层图包含相同的层，但较早层的学习率设置为 0。

#### (6) 训练网络

网络需要大小为  $224 \times 224 \times 3$  的输入图像，但是图像数据存储区中的图像具有不同的尺寸。利用增强图像数据存储区来自动调整训练图像的大小。数据增强有助于防止网络过度拟合，并且可以更加有效地记住训练图像的确切细节。

指定训练选项时，将 InitialLearnRate 设置为较小的值可以减慢尚未冻结的传输层的学习。增加最后一个可学习层因子，可以加快新层的学习速度。通过设置在新层中快速学习，在中间层中学习速度较慢，而在较早的冻结层中则没有学习。

指定要训练的轮数，进行新的训练。指定验证数据，每轮计算一次验证准确性。使用 GPU 训练可以加快学习速度，也可以用 CPU 算，默认用 GPU，如没有将会使用 CPU 训练，由于本文数据集很小因此训练的很快。如图 4 所示，训练过程中，验证准确率随轮数变化，经过六轮训练，结果验证准确率为 99.67%。最后生成模型并将其部署到树莓派和移动设备上。



图 4 训练结果

## 2.3 建筑信息提取

本程序基于 Autodesk Revit 平台开发，主要功能

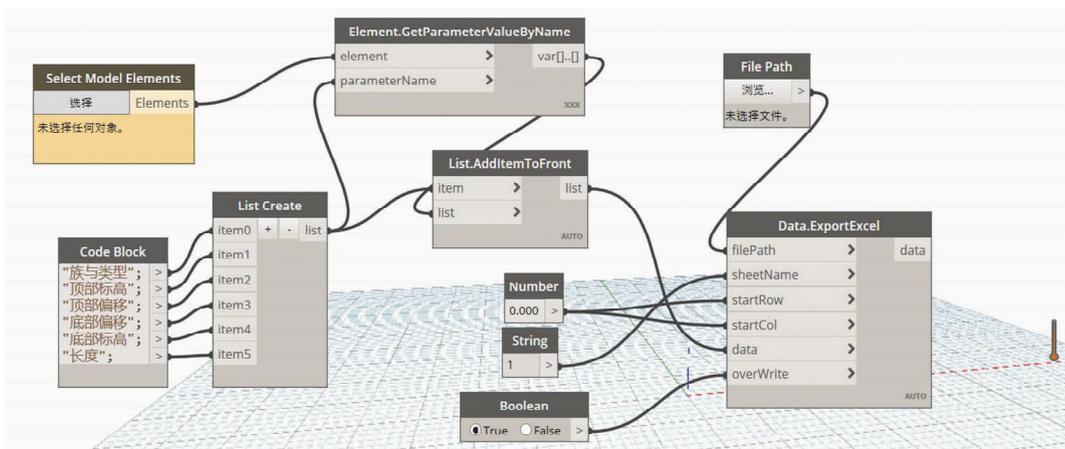


图 5 算法流程

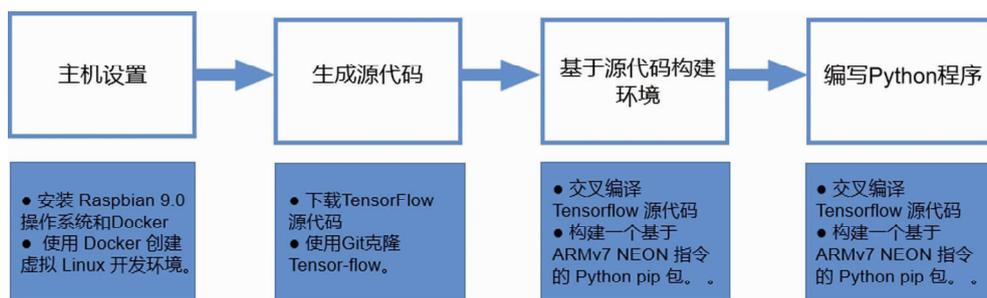


图 6 树莓派环境配置流程

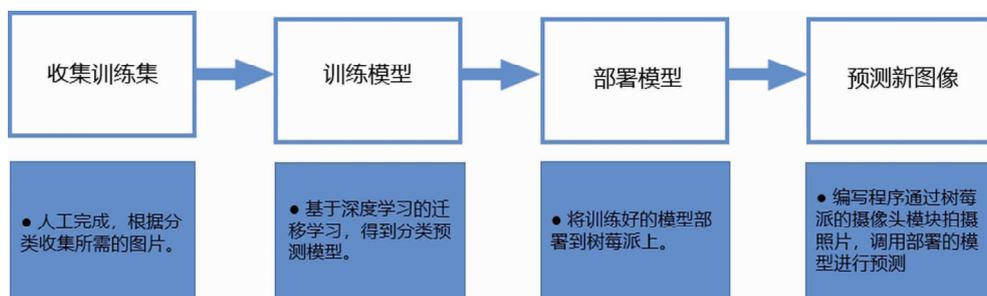


图 7 深度学习工作流程

为基于 BIM 的建筑构件信息提取。通过提取 BIM 模型中的建筑工程信息,可以大幅提高建筑工程的信息集成化程度,提供了一个直观便捷的工程信息交换与共享的方式<sup>[16]</sup>。该程序可用于施工单位将新建建筑与所提取工程信息作对比,以加快施工进度,或对已有建筑进行验收核查,应用十分广泛。

本程序基于 Revit 软件与 Dynamo 可视化编程,程序算法流程如图 5 所示。首先,采用 Select Model Elements 节点对所提取构件的图元或建筑部分进行选择。然后,在 code block 中输入所需的项目参数,用 List create 节点将导出信息形成列表。最后使用

Element. GetParameterValueByName 节点将输入端的相关信息提取出来,以参数的名称作为列表名称,将数据导出为 Excel 表格。

## 2.4 智能巡检眼镜

本研究的硬件部分选择了树莓派连接传输结果。树莓派具有成本低、性能稳定、可扩展性强等特点,本身具有一定的计算能力。通过 3D 打印定制眼镜框,用软排线连接鱼眼摄像头和树莓派后固定在镜框上。使用鱼眼摄像头实时地将视频流传输到显示屏上,结合相关算法,分析对比相应数据并将所得结果传到显示屏上。

### 2.4.1 树莓派环境配置

首先对主机进行设置,配置 Raspbian9.0 和 Docker,并使用 Docker 创建虚拟 Linux 开发环境。第二步为生成所需的源代码,下载 TensorFlow 源代码,使用 Git 克隆 TensorFlow。第三步基于源代码构建环境,编写 Python 程序,交叉编译 TensorFlow 源代码,从而构建一个基于 ARMv7 NEON 指令的 Python pip 包。配置流程如图 6 所示。

### 2.4.2 机器学习

在树莓派上进行深度学习,首先收集训练集,该步骤由人工完成,根据构件类型收集所需的图片。第二步训练模型,基于深度学习的迁移学习,得到分类预测模型。第三步部署模型,将训练好的模型部署到树莓派上,最后为预测新图像,通过树莓派的摄像头模块,拍摄一张照片,用部署的模型进行预测。机器学习流程如图 7 所示。

## 3 应用实例

### 3.1 内容实物

基于树莓派的建筑智能巡检眼镜如图 8 所示。眼镜采用 3D 打印人体工学镜架,构造简单,旨在以较少的零件达到其作用。运用 3D 打印技术,使眼镜镜架更符合人体工学审美及舒适程度,从而保证巡检人员在巡检过程中佩戴该设备的良好体验。利用前方的微型摄像头进行数据采集,可支撑分析系统进行图像识别及分析,最终得到准确的识别结果。

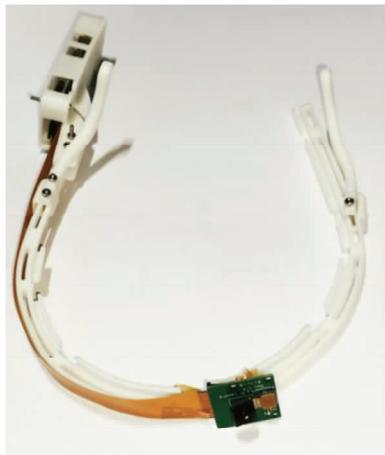


图 8 建筑智能巡检 AR 眼镜

智能巡检眼镜具有信息输入端口、输出端口,可实时接入实景图像数据,集成微型信息处理系

统,包含识别模块与信息反馈模块,可用于接收当前实景图像数据。通过机器学习智能识别建筑构件,连接 BIM 建筑信息数据库分析当前建筑构件的全生命周期维度信息并实时反馈输出数据信息,为巡检人员提供便捷的作业方式,并提升处理巡检问题的及时性。

### 3.2 案例分析

本案例选择在某 11 层建筑物内进行,其第 4 层房间及第 8 层房间的应用过程介绍如下:

(1)建筑构件识别。首先对第 4 层房间进行检测。检测过程中,检测人员头戴设备,面向需要检测的实物。树莓派摄像头拍摄实物内容,通过远程视频平台同步播放,检测内容见图 9。甲方和施工方可基于此开展实时的信息交流,在提高了建筑工程交流质量效率的同时,降低了由于缺乏检测信息或信息冗杂引发的不良影响。相应的检测内容识别结果如图 10 所示,摄像头捕捉到的构件是门的概率为 0.81,可以确定该建筑构件类别为门,识别结果无误。

Raspberry Pi - Surveillance Camera



图 9 同步实时检测

(2)构件信息提取。应用智能巡检眼镜,对第 8 层房间构件的识别结果如图 11 所示,结果表明智能巡检眼镜再次准确识别了结构构件类型。进入 Dynamo 后,运用构件识别程序进行构件信息提取,如图 12。最终生成构件信息表,见表 1。提取到的构件信息与实物构件比对结果表明,信息提取无误,基于 Dynamo 的建筑信息提取模块可准确提取构件信息,为巡检人员实时提供有效的检测数据。

案例分析结果表明,基于 BIM 与机器学习的建筑智能巡检眼镜,可迅速准确的识别建筑构建并提取构建信息,实现了预期功能。相较于人工识别纪录,人工测量分析的传统巡检方式,本文方法可以

大幅提升巡检效率,是一次 BIM 技术与人工智能相融合的成功尝试。



图 10 4 层构件识别

图 11 8 层构件识别

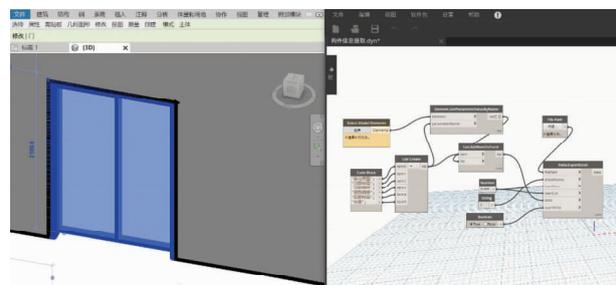


图 12 Dynamo 信息提取

表 1 构件信息提取结果

## 4 结论

随着人工智能的迅猛发展,土木工程与人工智能结合应用成为了土木专业重要的研究方向。而便携式建筑智能巡检眼镜的设计是打破这一行业艰难壁垒的创新,对土木工业发展具有重大意义。本研究基于机器学习与 BIM 的建筑信息提取程序,利用树莓派为硬件载体,有机、完整地进行相结合,整合调节,设计出便携式建筑智能巡检眼镜。主要结论如下:

(1)基于机器学习的建筑构件识别程序识别结

果准确,提高了建筑工程交流质量效率的同时,降低了由于缺乏检测信息或信息冗杂引发的不良影响。

(2)基于 Dynamo 可视化编程方法的建筑信息提取模块可快速准确的提取建筑构件信息,为建筑巡检实时提供有效的数据信息。在两组实际应用中可准确完成预期功能,大幅提升了建筑巡检效率。

(3)以树莓派为硬件载体设计建筑智能巡检眼镜,成本低、便携性高、性能稳定、可扩展性强。今后可再添加多种传感器,在巡检中更智能快捷地检测各种数据,为传统巡检提供新的方向。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 2016 - 2020 年建筑业信息化发展纲要[EB/OL]. (2016-08-23) [2021-04-30]. [http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201609/t20160918\\_228929.html](http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201609/t20160918_228929.html).
- [2] 易礼珍. BIM、物联网、云计算在地铁机电设备运维管理中的应用研究[J]. 福建建材,2016(8):110-112.
- [3] 黄国,林球英,李雄均. 基于 AR 智能眼镜的变电站可视化巡检平台设计[J]. 电子元器件与信息技术,2021,5(1): 77-78.
- [4] 徐宝军,李新海,罗海鑫,等. 基于建筑信息模型技术的变电站机器人智能巡检系统研究与应用[J]. 供用电,2020,37(11): 8-14.
- [5] 苗智慧. 基于 BIM 的建筑设备可视化运维管理系统研究[J/OL]. 土木建筑工程信息技术: 1-10 [2021-04-29]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5823.TU.20210312.1711.002.html>.
- [6] 吴生海,刘陕南,刘永晓,等. 基于 Dynamo 可视化编程建模的 BIM 技术应用与分析[J]. 工业建筑,2018,48(2):35-38,15.
- [7] 汪勇,付豪. BIM 可视化编程技术在桥梁上的应用——Dynamo 初探[J]. 城市道桥与防洪,2021(1): 187-190,20.
- [8] 王婷,池文婷. BIM 技术在 4D 施工进度模拟的应用探讨[J]. 图学学报,2015,36(2): 306-311.
- [9] 周志华. 机器学习[M]. 北京:清华大学出版社,2016: 113-114.
- [10] 刘佳明. 人工智能立法的运用及其规制[J]. 湖南农业大学学报(社会科学版),2021,22(1): 56-62.
- [11] 李少愚. 微博虚假信息鉴别技术验证平台的设计与实现[D]. 北京邮电大学,2019.
- [12] 欧阳森,张真. 基于树莓派的预防性轻型除冰机器人行

走控制系统设计[J]. 电气传动,2021,51(8): 71-76.

[13] 李晓蕊. 基于迁移学习的铁路异物检测算法研究[D]. 北京交通大学,2018.

[14] 衣柳成,魏伟波,刘小芳. 基于 GoogLeNet 的智能录播系统中站立人脸的检测与定位[J]. 青岛大学学报(自

然科学版),2019,32(4): 91-95.

[15] 贾雪微. 基于 PCANet-LDA 的移动机器人闭环检测研究[D]. 哈尔滨工业大学,2019.

[16] 张邻. 基于 BIM 与 GIS 技术在场址分析上的应用研究[J]. 四川建筑科学研究,2014,40(5): 327-329.

## The Search of Intelligent Architectural Inspection Glasses Based on BIM and Machine Learning

Yang Yajun, Shi Xuanlu, Tang Xiyan, Jin Xiaoyong, Xu Zhen

( *University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China* )

**Abstract:** With the rapid development of BIM industry, the application of BIM combined with artificial intelligence has become a prevalent trend. In order to solve the problems of inconvenient carrying apparatus and unavoidable manual errors in building inspection, intelligent inspection glasses based on BIM and machine learning are designed, which enables the process to be portable and automated. Firstly, building component images are trained based on machine learning to realize component recognition; Second, information of architectural components should be fetched quickly through the visualization program-Dynamo. Finally, Raspberry Pi (RPi) is used to design intelligent inspection glasses, and the detection results can accurately identify the types of building components. This method can not only greatly improve the efficiency of inspection but also make the further integration of BIM technology and artificial intelligence realized.

**Key Words:** BIM; Machine Learning; Raspberry Pi; Extract Component Information; Intelligent Patrol